



EFFECTO DEL MANEJO DE PLANTACIONES DE EUCALYPTUS GLOBULUS SOBRE ALGUNOS INDICADORES DE CALIDAD DE SUELOS

EFFECT OF EUCALYPTUS GLOBULUS PLANTATION MANAGEMENT ON SOME SOIL QUALITY INDICATORS

EFEITO DO MANEJO DE PLANTAÇÕES DE EUCALYPTUS GLOBULUS EM ALGUNS INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO

Alberto Pérez-Díaz¹, Sâmia Maria Tauk Tornisielo², Gabriel Ribeiro Castellanos²

Artigo recebido em: 08/01/2023 e aceito para publicação em: 18/09/2023.

DOI: <http://doi.org/10.14295/holos.v23i2.12485>

Resumen: El experimento fue realizado en el Centro de Estudios Ambientales (CEA) de Brasil. Se evaluaron tres parcelas: P-23 (con especies nativas de Brasil), P-15 (deforestación) y P-Eucalipto (50 años de plantada), perteneciente al Bosque Estatal Edmundo Navarro de Andrade (FEENA) con el objetivo de evaluar el efecto del manejo del eucalipto sobre algunos indicadores de calidad del suelo. Se instalaron parcelas de 900 m² con 17 puntos de recolección. Se evaluaron indicadores de calidad del suelo: pH, MO (%), N (%), respiración biológica (umol CO₂m⁻²s⁻¹), bacterias y hongos (UFC). Los resultados mostraron que los factores ambientales e indicadores de calidad del suelo sufrieron mayores variaciones en la parcela P-15. Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en cuanto a materia orgánica, N del suelo (%), número de bacterias y hongos y la cantidad de CO₂ liberado en el suelo. Los indicadores de calidad del suelo variaron según el manejo realizado al bosque. Se encontró relación entre la producción de CO₂ y la relación C/N, C % y materia orgánica del suelo. El uso de indicadores de calidad del suelo puede ser una herramienta rápida para evaluar el efecto del manejo de plantaciones forestales.

Palabras clave: Flujo de CO₂ en el Suelo. Actividad Microbiana. Ciencia del Suelo. Formaciones Forestales.

Abstract: The experiment was carried out at the Center for Environmental Studies (CEA) in Brazil. Three plots were evaluated: P-23 (with native species from Brazil), P-15 (deforestation) and P-Eucalyptus (50 years of planting), belonging to the Edmundo Navarro de Andrade State Forest (FEENA) with the objective of evaluating the effect of eucalyptus management on some soil quality indicators. Plots of 900 m² with 17 collection points were installed. Soil quality indicators were evaluated: pH, OM (%), N (%), biological respiration (umol CO₂ m⁻²s⁻¹), bacteria and fungi (UFC). The results showed that environmental factors and soil quality indicators suffered greater variations in plot P-15. Significant differences were found between the treatments in terms of organic matter, soil N (%), number of bacteria and fungi, and the amount of CO₂ released into the soil. Soil quality indicators varied according to the management of the forest. A relationship was found between CO₂ production and the C/N ratio, C % and soil organic matter. The use of soil quality indicators can be a quick tool to evaluate the effect of forest plantation management.

Keywords: Soil CO₂ emissions. Microbial activity. Soil Science. Forest formations.

¹ Universidad de Guantánamo, Provincia de Guantánamo, Cuba. E-mail: (aperezdiaz1972@gmail.com)

² Centro de Estudios Ambientales – UNESP, Campus Rio Claro. E-mails: (seb@rc.unesp.br, grcastellano@gmail.com)

Resumo: O experimento foi realizado no Centro de Estudos Ambientais (CEA) no Brasil. Foram avaliadas três parcelas: P-23 (com espécies nativas do Brasil), P-15 (desmatamento) e P-Eucalipto (50 anos de plantio), pertencentes à Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade (FEENA) o objetivo foi avaliar o efeito do manejo do eucalipto em alguns indicadores de qualidade do solo. Foram instaladas parcelas de 900 m² com 17 pontos de coleta. Foram avaliados os indicadores de qualidade do solo: pH, MO (%), N (%), respiração biológica (umol CO₂m⁻²s⁻¹), bactérias e fungos (UFC). Os resultados mostraram que os fatores ambientais e indicadores de qualidade do solo sofreram maiores variações na parcela P-15. Diferenças significativas foram encontradas entre os tratamentos em termos de matéria orgânica, N do solo (%), número de bactérias e fungos e quantidade de CO₂ liberado no solo. Os indicadores de qualidade do solo variaram de acordo com o manejo da floresta, sendo encontrada relação entre a produção de CO₂ e a relação C/N, C % e matéria orgânica do solo. O uso de indicadores de qualidade do solo pode ser uma ferramenta rápida para avaliar o efeito do manejo de plantações florestais.

Palavras-chave: Fluxo de CO₂. Atividade microbiana. Ciência do Solo. Formações florestais.

1 INTRODUCCIÓN

Los primeros estudios con eucalipto (*Eucalyptus globulus*, Labill) en Brasil recién fueron iniciados en 1904, por Edmundo Navarro de Andrade, en Horto Florestal en Rio Claro, SP, perteneciente a la ex Compañía Paulista de Estradas de Ferro. Por su parte, el crecimiento del área reforestada en el país fue realmente notable solo a partir de la promulgación de la Ley de Incentivos Fiscales a la Reforestación, Ley N° 5.106 de 1966 (Santarosa *et al.*, 2014).

Los boques tropicales tienen una enorme variedad de especies y son reconocidos por su gran biodiversidad, con la existencia de especies únicas en el mundo. Estos a su vez poseen una alta riqueza florística y complejas estructuras que con base a su funcionalidad permiten la obtención de varios recursos (Jadán *et al.*, 2017).

En los últimos años los bosques tropicales han sido extensamente deforestados y fragmentados en todo el mundo, con un aumento de presión sobre los recursos naturales y degradación de diversos ecosistemas a nivel mundial (Arroyo-Rodríguez *et al.*, 2017; Weinzettel *et al.*, 2018).

Por lo tanto, existe la necesidad de una mayor cantidad de estudios sobre biotecnología del suelo, especialmente en lo que respecta a la recuperación de áreas naturales como la Mata Atlántica. Uno de los factores ambientales importantes es la evaluación de indicadores de calidad del suelo en áreas con diferentes manejos forestales, además de orientar los planes de siembra y restauración del área.

El uso de indicadores de calidad del suelo puede ser una herramienta rápida para la toma de decisiones, ya que son sensibles al manejo a corto, mediano y largo plazo, dependiendo de la propiedad y el suelo que se esté evaluando (García *et al.*, 2012).

Como ninguna propiedad es permanente, se deben considerar las dimensiones espacial y temporal para evaluar la calidad del suelo (Bautista-Cruz y Etchevers, 2014). En la dimensión espacial, el Bosque Estatal "Edmundo Navarro de Andrade (FEENA) en el municipio de Rio Claro (SP) en las zonas de Gestión Histórico-Cultural y Forestal fue considerado debido a su importancia.

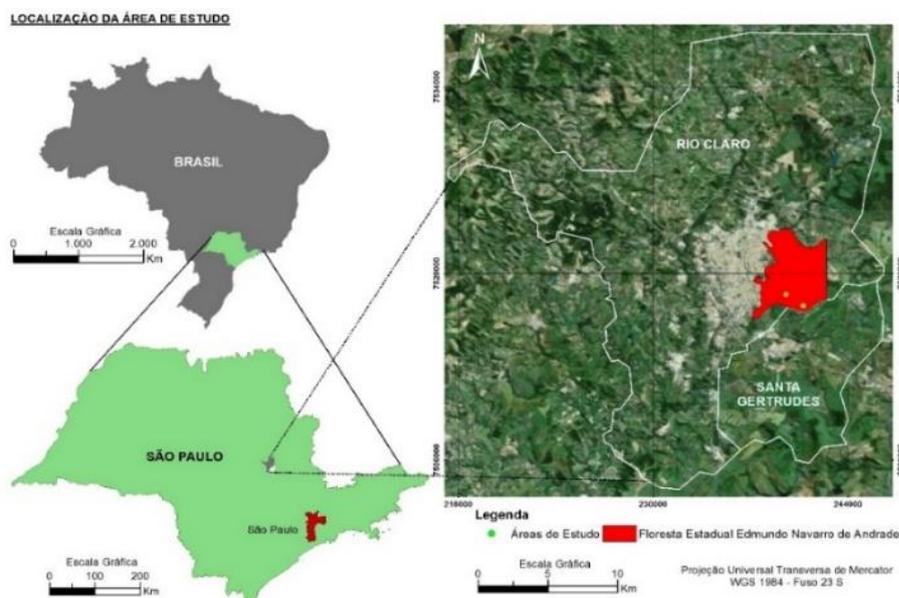
El objetivo del estudio fue evaluar el efecto del manejo del eucalipto sobre algunos indicadores de calidad del suelo.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de Estudio

El Bosque Estatal "Edmundo Navarro de Andrade" (FEENA), ubicado al este del área urbana del municipio de Rio Claro (SP), 175 km al noroeste de la Capital del Estado de São Paulo (**Figura 1**), fue organizado espacialmente según el usos y sistemas de protección, clasificado en siete zonas diferentes: 1. Histórico-cultural; 2. Recuperación; 3. Manejo Forestal; 4. Conflictivo; 5. Uso Público; 6. Uso especial y la 7. Conservación.

Figura 1 - Localización del Bosque Estatal "Edmundo Navarro de Andrade" (FEENA)



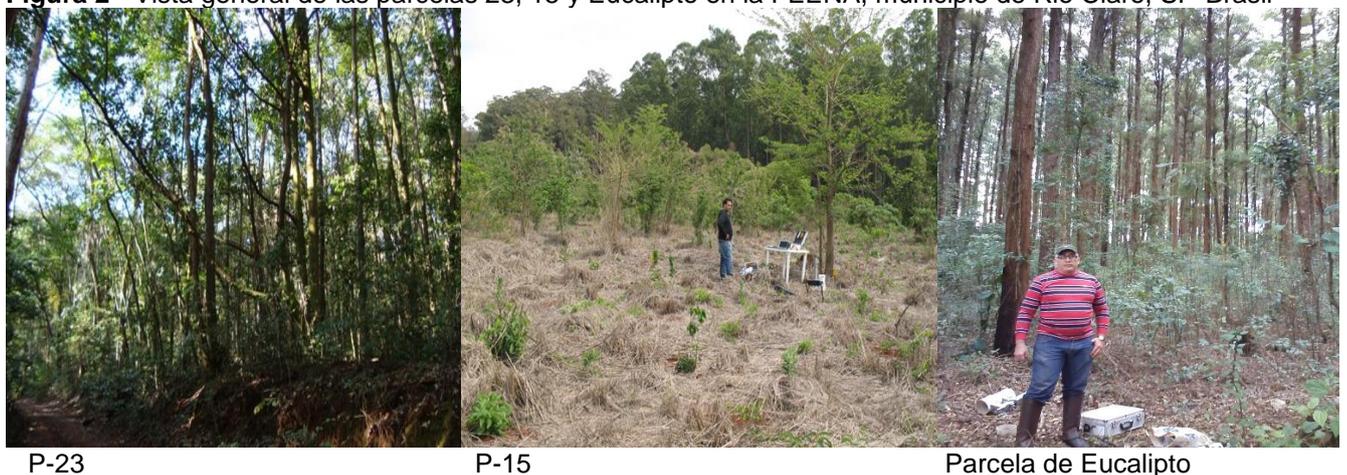
Para la evaluación de las propiedades del suelo se tomaron tres áreas ubicadas en FEENA, de aprovechamiento sustentable. Las parcelas 23, 15 y Eucalipto, respectivamente en las zonas Histórico-Cultural y de Manejo Forestal.

La parcela P-23 es una de las primeras en ser plantada con especies nativas de Brasil, establecida en 1916 con un espaciamiento de 2m por 2m, originalmente en un área de 1.1 hectárea, con 700 especies de 25 familias diferentes, muchas de interés comercial (**Figura 2**).

La parcela P-15, inserta en la Zona de Manejo Forestal, desde principios de siglo estuvo sembrada de eucaliptos, después del último corte, hace aproximadamente 10 años, el lugar fue abandonado y desde entonces es ocupado por especies de gramíneas. La parcela de Eucalipto se estableció en FEENA desde hace 50 años, basado en un manejo forestal con potencial para conservar la base genética de la especie.

Los suelos predominantes en las parcelas son los denominados Argisoles Rojos por el color que le otorgan los altos niveles de óxidos de hierro presentes en el material original, se encuentran relieves ondulados y bien drenados. Una fertilidad natural presente dependiente del material de origen. Por clasificarse como Eutrófico, es un suelo de buena fertilidad (EMBRAPA, 2013).

Figura 2 - Vista general de las parcelas 23, 15 y Eucalipto en la FEENA, municipio de Rio Claro, SP-Brasil



Para evaluar las propiedades del suelo se instalaron parcelas de muestra de 900 m² en cada una de las parcelas seleccionadas. Dentro de estas parcelas se instalaron 17 puntos de recolección. La distancia entre los puntos se fijó en 10 m.

Se recolectaron muestras de suelo de las áreas hasta 10 cm de profundidad y se colocaron en bolsas plásticas, debidamente rotuladas y se pasaron por un tamiz con luz

de malla de 2.83 mm y se homogeneizó individualmente para su procesamiento inmediato. Los utilizados para la determinación de la humedad del suelo se colectaron por separado, en latas de aluminio previamente taradas, tapadas y rotuladas.

2.2 Evaluaciones realizadas

Los indicadores seleccionados se utilizan a menudo para definir la fertilidad del suelo (Estrada-Herrera *et al.*, 2017).

- **Humedad del suelo:** Se utilizó el dispositivo denominado “Speed Moisture Tester”.
- **La temperatura del suelo y la conductividad térmica del suelo** se midieron utilizando el sistema de adquisición de datos KD 2Pro (Decagon, EE. UU.) acoplado a una sonda KS⁻¹ con una precisión del 5 % para valores de conductividad térmica entre 0.2 y 2.0 m⁻¹*K⁻¹ y 1 % para valores de 0.02 a 0.2 m⁻¹*K⁻¹. Los datos de temperatura y conductividad térmica se recolectaron a 5 cm de la superficie del suelo en el punto de recolección, insertando una sonda KS⁻¹, durante la adquisición de los datos de salida de CO₂.
- **Materia orgánica del suelo:** Para la determinación se utilizó el método volumétrico de Walkley-Black, determinando primero el contenido de carbono orgánico: 4.1. De cada muestra tamizada se pesaron 10 gramos de suelo (peso seco) y se secó previamente a 58 °C por aproximadamente 12 horas. La muestra se colocó en un matraz Erlenmeyer de 250 mL y se agregó en el orden:
 - 10 mL de dicromato de potasio N
 - 20 mL de ácido sulfúrico concentrado y 10 mL de ácido fosfórico al 85 %b. Las muestras se calentaron a ebullición, se enfriaron y se diluyeron con 90 mL de agua destilada. Luego, se agregó 1.0 mL de indicador de difenilamina y la titulación se llevó a cabo con N sulfato de hierro.
 - c. El porcentaje de carbono se calculó por la **Ecuación 1** de la siguiente manera:

$$\%C = \frac{(B-A) \cdot N \cdot 0,003 \cdot (100 \cdot U)}{MA} \quad (1)$$

Donde:

B= volumen de sulfato de hierro gastado en la titulación en blanco

A = volumen de sulfato de hierro gastado en la titulación de la muestra

N= normalidad de la solución de sulfato de hierro

Ma= masa de la muestra

U= humedad de la muestra

- **pH del suelo:** se midió en suspensión de suelo en agua o en solución salina de KCl, en la proporción 1:2.5, siendo agitado durante 30 minutos en mesa rotatoria y determinado con un pHmetro digital.
- **Nitrógeno:** El nitrógeno se determinó por el método Kjeldahl.
- **Grupos microbianos:** El número de microorganismos del suelo se determinará por el método indirecto, con la técnica de dilución seriada. Los grupos de microorganismos en los suelos estudiados fueron: bacterias (dilución 10^{-5}) y hongos (dilución 10^{-3}), en Agar Nutriente, Agar Papa Dextrosa, respectivamente.
- **Mediciones de CO₂:** Para realizar las mediciones en cada uno de los puntos se fijó en el suelo un anillo de PVC de 10 a 15 cm de altura. La profundidad de penetración de estos anillos fue de 10 cm. Las mediciones de flujo de CO₂ se realizaron mediante un analizador de gases infrarrojo (IRGA), modelo LI-840, marca Licor, acoplado a una cámara dinámica, por medio de una bomba de circulación.
- La respiración del suelo se calculó con la tasa de cambio de la concentración de CO₂ dentro del volumen de la cámara por unidad de tiempo, de acuerdo con la **(Ecuación 2)** que se presenta a continuación:

$$R_s = (C_n - C_{n1}) / t * (V/A) * (P/RT) \quad (2)$$

Dónde:

R_s=Flujo de CO₂ de referencia (umol*m⁻²s⁻¹)

C_n= concentración de CO₂ (ppm)

P= Presión de aire (Pa)

T= Temperatura del aire (K)

R= Constante de gas específica (8.314 J* mol⁻¹K⁻¹)

V= volumen de la cámara (m³)

A= Área de cobertura horizontal de la cámara (m²)

El análisis de los factores ambientales y del suelo se realizó en el Laboratorio de Química-Física del Centro de Estudios Ambientales (CEA), Campus de Rio Claro, SP.

2.4 Análisis estadístico

Todos los factores estudiados se representaron con media y desviación estándar. El análisis de los factores ambientales del suelo (%) fue transformado por $\text{Arc. sen}\sqrt{x}$. A los resultados obtenidos se les aplicó análisis de varianza y en caso de diferencias significativas se aplicó la prueba de Duncan para múltiples intervalos ($p < 0.05$), se establecieron correlaciones entre los factores ambientales y se analizaron en conjunto durante el periodo de estudio. Se utilizaron diferentes modelos matemáticos, seleccionando el mayor coeficiente de determinación (R^2).

3 RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 Factores ambientales en las áreas de estudios

En la **Tabla 1** se muestra el comportamiento de los factores ambientales en las diferentes áreas. Los porcentos más bajos de humedad del suelo, las temperaturas tanto del suelo como aire más elevado y porcentaje de humedad relativa, se dieron en la parcela deforestada (Parcela 15), quizás por falta de hojarasca o caída de la hojarasca de los árboles.

Tabla 1 - Resultados de algunos factores ambientales en las áreas de estudio dentro de la FEENA, municipio de Rio Claro, SP, 2015

Parcelas	Humedad de suelo (%)	Temperatura de suelo(°C)	Temperatura del aire (°C)	Humedad Relativa (%)
P-23 (Forestal)	30.17	18.7	23.0	81.0
P-15(Desforestada)	21.6	19.32	23.8	82.5
P-Eucalipto	24.32	18.8	23.1	80.5

Las propiedades del suelo a 0-10 cm de profundidad presentaron tendencias similares a los resultados reportados por Velázquez *et al.* (2019), quienes en un estudio realizado en la Reserva de Biósfera del Bosque Mbaracayú encontraron que los valores de pH y MO fueron mayores en los bosques en comparación con el área trasformada hacia un sistema agroforestal.

En la provincia de Shannxi, China, en un área ubicada a una altitud de 1353 metros, con una precipitación anual de 504 mm y una temperatura promedio de 10.1 °C,

se obtuvieron valores promedio anuales de 2.29-3.23 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ para un bosque con el predominio de la especies *Quercus liaotungensis* y *P. orientalis*, superior al área deforestada con valores de 2.03 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ (Shi *et al.*, 2014).

3.2 Indicadores de suelos: pH, MO, N, respiración biológica, bacterias y hongos

Los valores de pH variaron de acuerdo a cada parcela estudiada y en la que hubo deforestación fueron menores. Los valores de pH en las parcelas de eucaliptos y forestales fueron cercanos a la neutralidad (**Tabla 2**). Para el caso de la materia orgánica, la misma disminuyó en la parcela deforestada.

Tabla 2 - Efecto del manejo sobre algunos indicadores de calidad de los suelos en áreas de la FEENA, municipio de Rio Claro, SP, 2015

Parcelas	pH (H ₂ O)	M.O (%)	N de suelo (%)	CO ₂ $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	Bacterias 10 ⁵ UFC	Hongos 10 ³ UFC
P-23 (Forestal)	7.3a	21.0 a	0.9 a	2.1a	36.1a	21.2b
P-15(Desforestada)	6.8 c	13.1c	0.4 c	1.7 c	20.0c	18.2 c
P-Eucalipto	7.1 b	16.0 b	0.6b	1.9b	25.4b	29.5a
ESx	0.90*	0.30*	0.11*	0.01*	1.10*	1.15*

Medias con letras iguales no difieren significativamente según Duncan * = P < 0,05

Los valores de N del suelo (%) y número de bacterias y hongos y la cantidad de CO₂ liberado al suelo fueron diferentes en las parcelas estudiadas. Se encontraron diferencias significativas entre las Parcela 23 (parcela forestal), la parcela de eucaliptos y la deforestada (P-15). Las mayores poblaciones de bacterias aparecieron en la parcela forestal, mientras que la población de hongos fue más abundante en la parcela de Eucalipto.

Las diferencias encontradas en cuanto a N del suelo (%), número de bacterias y hongos y la cantidad de CO₂ liberado al suelo entre las diferentes parcelas estudiadas, donde los mayores valores se encontraron en la P-23 (parcela forestal), seguida de la Parcela de Eucaliptos y los más bajos resultados en la parcela deforestada (P-15), fue debido a que cuando se restauran áreas con bosques nativos, hay una entrada de residuos vegetales en el suelo que incrementa la acumulación de carbono orgánico y disminuirá drásticamente se cambia el uso del bosque.

Así, en áreas transformadas en Brasil para el cultivo de caña de azúcar, se encontró que las diferencias en la emisión de CO₂ del suelo estaban asociadas con la dinámica de la actividad microbiana, el carbono de la biomasa microbiana y el C/N del

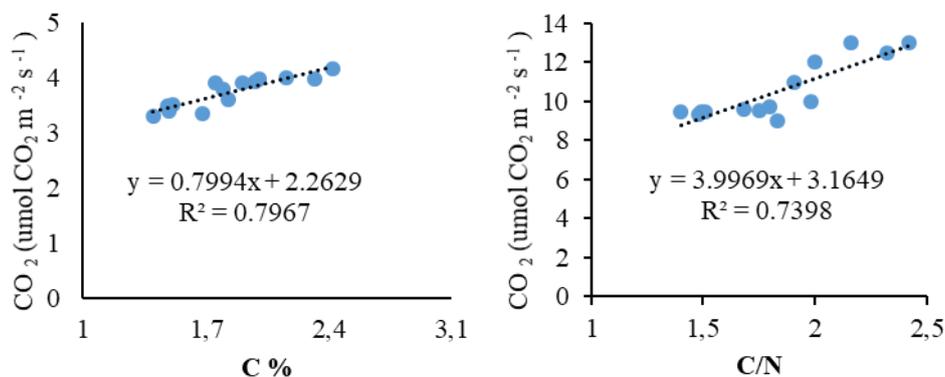
suelo. Este estudio refuerza la importancia del patrón espacial de las propiedades del suelo y cómo influyen en la dinámica de las emisiones de CO₂ si cambia el uso y manejo del suelo (Moitinho *et al.*, 2021).

La deforestación es la eliminación completa de la vegetación forestal y su sustitución por una cubierta terrestre no forestal (Philippe y Karume, 2019). Los bosques juegan un papel importante en la absorción de nutrientes del suelo y funcionan como sumideros de carbono porque los árboles absorben CO₂ y disminuyen la presión del calentamiento global sobre el medio ambiente (Zhao *et al.*, 2019).

Los porcentajes de nitrógeno obtenidos en las parcelas forestal y de Eucalipto fueron similares a los encontrados por Ensina *et al.* (2014) para suelos sembrados con eucalipto (1.98% N).

Se encontró relación entre la producción de CO₂, carbono del suelo (%) y la relación C/N del suelo (**Figura 3**). En la medida que aumento el porcentaje de carbono y la relación C/N, se incrementó la producción de CO₂ en el suelo, siendo mayor en las Parcela 23 y de Eucaliptos.

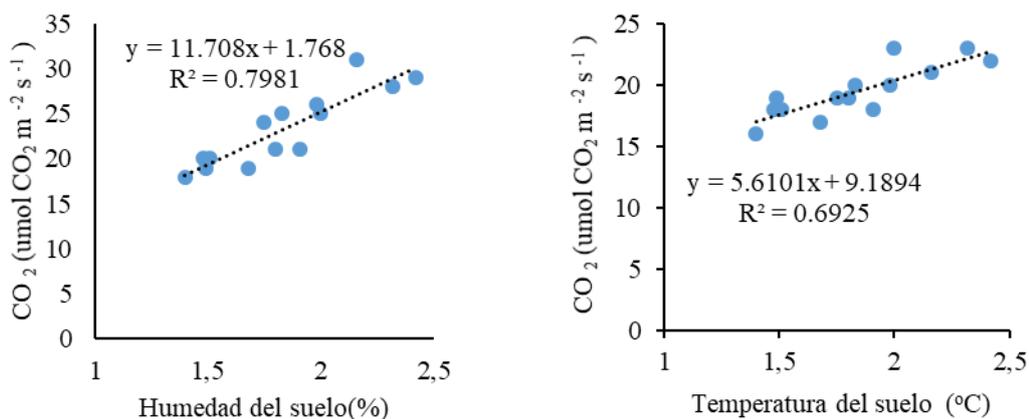
Figura 3 - Relación entre CO₂, carbono del suelo (A) y C/N (B) en las diferentes parcelas del área de estudio, en FEENA, municipio de Rio Claro, SP, 2015



3.3 Relación entre las variables ambientales con el secuestro de CO₂ del suelo

Se encontró una relación directa entre la actividad microbiana del suelo analizada a través de la respiración biológica del suelo (CO₂) y la humedad del suelo ($R^2 = 0.798$) y con la temperatura del suelo ($R^2 = 0.69$) (**Figura 4**).

Figura 4 - Relación entre CO₂, humedad del suelo (A) y la temperatura del suelo (B) en las diferentes parcelas de la FEENA, municipio de Rio Claro, SP, 2015



La evaluación del carbono orgánico del suelo se puede utilizar en la toma de decisiones para las prácticas de manejo del suelo y es una indicación de la variabilidad espacial de la estabilidad del carbono del suelo, que depende de las interacciones de los factores físicos, químicos y biológicos en el agroecosistema (Alexandre da Silva *et al.*, 2020).

Las estimaciones de biomasa y el carbono acumulado en los bosques tropicales facilitan información importante que permite pronosticar la respuesta a las condiciones ambientales cambiantes, de forma tal que posibilite la selección de taxones para mayor efectividad en los programas de reforestación (Rodríguez-Larramendi *et al.*, 2017).

Los resultados obtenidos en cuanto a la relación entre la producción de CO₂ y los factores ambientales fueron similares a los obtenidos por Dias (2006) quien encontró relaciones entre la emisión de CO₂ y la humedad del suelo ($R^2 = 0.79$) y la temperatura del suelo ($R^2 = 0.69$). En la selva amazónica, también se encontraron relaciones entre la emisión de CO₂ y la humedad del suelo, durante la época seca ($R^2 = 0.76$) y lluviosa ($R^2 = 0.78$).

Castellano *et al.* (2017) encontraron en la Parcela 23, las emisiones de CO₂ oscilaron entre 0.61 y 3.86 μmol CO₂ m⁻²s⁻¹ y mostraron una correlación lineal significativa con la humedad del suelo ($R^2 = 0.55$), similar a los resultados encontrados en las parcelas evaluadas.

En un Bosque Atlántico del Alto de Paraná y en sistemas agroforestales se encontraron contenidos de carbono del suelo elevados, alta diversidad arbórea y calidad del suelo (Kubota *et al.*, 2021).

La capacidad de los bosques para almacenar carbono en forma de biomasa microbiana varía en función de la composición florística, la densidad y la edad de la

población, tal y como reportaron Rojas-Vargas *et al.*, (2019). Esto corrobora los resultados de la presente investigación en el cual se evidenció un bajo contenido de carbono acumulado en la biomasa microbiana en el área deforestada, lo cual resulta muy preocupante y requiere de medidas inmediatas de mitigación del impacto socioambiental generado, con el fin de conservar y recuperar este importante reservorio en Brasil.

Sin embargo, en un área cultivada con caña de azúcar en el interior de São Paulo, las emisiones no mostraron una correlación significativa con la temperatura del suelo (Teixeira *et al.*, 2014), lo que puede explicarse por la baja variabilidad de la variable durante el período de recolección. Debido a que las propiedades del suelo dependen considerablemente del ecosistema, es de suma importancia determinar las principales características físicas, químicas y biológicas (Bautista-Cruz y Etchevers, 2014).

Es probable que continúe la pérdida de bosques tropicales, particularmente en ecosistemas tropicales potencialmente productivos, existe un interés creciente en el potencial de mitigación de los bosques que surgen de la reforestación o la regeneración de bosques naturales (Arroyo-Rodríguez *et al.*, 2017; Schwartz *et al.*, 2017). Por lo que, para la conservación de la biodiversidad, los servicios ecosistémicos y la mitigación, el uso de indicadores (respiración biológica, grupos microbianos, materia orgánica y pH) permite integrar el sistema de manejo y el sistema de restauración forestal con la toma de decisiones para los agroecosistemas forestales de Brasil.

4 CONCLUSIONES

Los indicadores de calidad del suelo estudiados variaron según el manejo realizado al bosque, con diferencias significativas entre las parcelas.

Se encontró una relación directa entre los factores ambientales y la actividad microbiana del suelo analizada a través de la respiración biológica del suelo. Se encontró que tales valores fueron mayores en la P-23, correspondiente a un área boscosa que en la parcela de eucalipto y el área deforestada (P-15).

Se encontró relación entre la producción de CO₂ y la relación C/N, C % y materia orgánica del suelo.

El uso de indicadores de calidad del suelo puede ser una herramienta rápida para evaluar el efecto del manejo de plantaciones forestales.

5 AGRADECIMIENTOS

A CAPES, por la aprobación de la beca Postdoctoral y al Centro de Estudios Ambientales (CEA) de la UNESP/Rio Claro por el apoyo logístico en los análisis de laboratorio. Al MsC. Gabriel Ribeiro Castellano por la colaboración prestada.

REFERENCIAS

ALEXANDRE DA SILVA, P.; HORSCHUT DE LIMA, B.; LA SCALA, N.; PERUZZI, N.J.; CHAVARETTE, F.R.; RODRIGO PANOSSO, A. Spatial variation of soil carbon stability in sugarcane crops, central-south of Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 202, n. 2020, e104667, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104667>.

ARROYO-RODRÍGUEZ, V.; MELO, F.P.L.; MARTÍNEZ-RAMOS, M.; BONGERS, F.; CHAZDON, R.L.; MEAVE, J.A.; NORDEN, N.; SANTOS, B.A. Multiple successional path ways in human-modified tropical lands capes: new insights from forest succession, forest fragmentation and land scape ecology research. **Biological Reviews**, v. 92, n. 1, p. 326-340, 2017. <https://doi.org/10.1111/brv.12231>

BAUTISTA-CRUZ, A. & ETCHEVERS, J. D. **Una revisión sobre los conceptos de la calidad del suelo: sus indicadores e índices**. España: Editorial Académica Española (Org). 2014. <https://www.amazon.com.br/revisi%C3%B3n-sobre-conceptos-calidad-suelo/dp/3847365096>

CASTELLANO, G. R.; Xavier Morenob, L.; Menegária, A.A.; Silvio Govone, J.; Gastmans, D. Quantificação das emissões de CO₂ pelo solo em áreas sob diferentes estádios de restauração no domínio da Mata Atlântica. **Química Nova**, v.40, n. 4, p. 407-412, 2017. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170036>.

DIAS, J. D. **Fluxo de CO₂ proveniente da respiração do solo em áreas de floresta nativa da Amazônia**. 2006. 87f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo/Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba. Disponible en: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/91/91131/tde-04102006-163445/pt-br.php>

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos.2013. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos** - SiBCS:. 3a ed. Rio de Janeiro, 353p. Disponible en: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003>

ESTRADA-HERRERA, I. R.; HIDALGO-MORENO, C.; GUZMÁN-PLAZOLA, R.; SUÁREZ, J.A; NAVARRO-GARZA, H.; ETCHEVERS-BARRA, J.D. Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad. **Agrociencia**, v. 51, n. 8, p. 813-831, 2017. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v51n8/1405-3195-agro-51-08-813.pdf>

ENSINAS, S. C.; MARCHETTI, M.E.; DA SILVA, EULENE F.; POTRICH, D.C. ; MARTINEZ, M.A. Atributos químicos, carbono e nitrogênio total em latossolo submetido a diferentes sistemas de uso do solo. **Global Science and Technology**, v. 7, n. 2, p. 24-36, 2014. <https://doi.org/10.14688/1984-3801/gst.v7n2p24-36>

GARCÍA, Y.; RAMÍREZ, W.; SÁNCHEZ, S. Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. **Pastos y Forrajes**, v. 35, n. 2, p. 125-137,2012. Disponible en: <http://payfo.ihuey.cu/Revista/v35n2>

JADÁN, O.; QUIZHPE, W.; PACHECO, E.; AGUIRRE, Z.; GONZÁLEZ, M.; PONCE, E.; PEÑA, D. Riqueza florística y carbono almacenado en tres pisos altitudinales de bosques amazónicos, Zamora Chinchipe, Ecuador. **Bosques Latitud Cero**, v. 7, n. 1, 2017. Disponible en: <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/172>

KUBOTA, V.R.; PULLEMAN, M.M.; DOMÍNGUEZ, A.; MONTIEL, C.; ORTIZ, A.; KUBSCH, N.; SALAS, D.; GALEANO, P. Efectos de diferentes sistemas de uso de suelo sobre la diversidad de árboles, almacenamiento de carbono y calidad del suelo en el Bosque Atlántico del Alto Paraná, Paraguay. **Revista de Ciencias Ambientales**, v. 55, n. 2, p. 19-44, 2021. <https://doi.org/10.15359/rca.55-2.2>

MOITINHO, M. R.; BORTOLI TEIXEIRA, D.; DA SILVA BICALHO, E.; RODRIGO PANOSSO, A.; FERRAUDO, A.S.; TADEU PEREIRA, G.; MUI TSAI, S.; FERRARI BORGES, B.M.; LA SCALA JR, N. Soil CO₂ emission and soil attributes associated with the microbiota of a sugar cane area in southern Brazil. **Scientific Reports**, v.11, e8325, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87479-2>

PHILIPPE, M.T.; KARUME, K. Assessing Forest Cover Change and Deforestation Hot-Spots in the North Kivu Province, DR-Congo Using Remote Sensing and GIS. **American Journal of Geographic Information System**, v. 8, n. 2, p 39-54, 2019. Disponible en: <http://article.sapub.org/10.5923.j.ajgis.20190802.01.html>

RODRÍGUEZ-LARRAMENDI, L.A.; GUEVARA-HERNÁNDEZ, F.; REYES-MURO, L.; OVANDO-CRUZ, J.; NAHED-TORAL, J.; PRADO-LÓPEZ, M.; CAMPOS SALDAÑA, R.A. Estimación de biomasa y carbono almacenado en bosques comunitarios de la región Frailesca de Chiapas, México. **Revista mexicana de ciencias forestales**, v. 7, n. 37, p. 77-94, 2017. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-11322016000500077&lng=es&nrm=iso&tlng=es

ROJAS-VARGAS, E.P.; SILVA-AGUDELO, E.D.; GUILLÉN-MOTTA, A.Y.; MOTTA-DELGADO, P.A.; HERRERA-VALENCIA, W. Carbono almacenado en estrato arbóreo de sistemas ganaderos y naturales del municipio de Albania, Caquetá, Colombia. **Ciencia y Agricultura**, v. 16, n. 3, p. 35-46, 2019. <https://doi.org/10.19053/01228420.v16.n3.2019.9515>

SANTAROSA, E. ; PENTEADO-JUNIOR, J.F.; GOULART, I. C.G; (Eds). **Transferência de tecnologia florestal: cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2014. 138p. Disponible en: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/121607/1/Apostila-Serie-TT-Eucalipto.pdf>

SCHWARTZ, N. B.; URIARTE, M.; DE FRIES, R.; BEDKA, K.M.; FERNANDES, K.; GUTIÉRREZ-VÉLEZ, V.; PINEDO-VASQUEZ, M.A. Fragmentation increases wind disturbance impacts on forest structure and carbon stocks in a western Amazonian landscape. **Ecological Applications**, v. 27, n. 6, p 1901-1915, 2017. <https://doi.org/10.1002/eap.1576>

SHI, W. Y.; MEI-JIE, Y.; JIAN-GUO, Z.; JIN-HONG, G.; SHENG, D. Soil CO₂ emissions from five different types of land use on the semiarid Loess Plateau of China, with emphasis on the contribution of winter soil respiration. **Atmospheric Environment**, v. 8, p. 74-82, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.01.066>

TEIXEIRA, D.; DA SILVA BICALHO, E.; RODRIGO PANOSSO, A.; PELLEGRINO CERRI, C.F.; TADEU PEREIRA, G.; LA SCALA JÚNIOR, N. Spatial variability of soil CO₂ emission in a sugarcane area characterized by secondary information. **Scienti Agricola**, v. 70, n. 3, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000300008>

VELÁZQUEZ SILVA, L.; KUBOTA, V. R.; IBARRA ARANDA, J. E.; SALAS DUEÑAS, D.A. Efectos del cultivo de yerba mate (*Ilex paraguariensis*) bajo sombra sobre la mesofauna edáfica en la Reserva de Biósfera del Bosque Mbaracayú. **Boletín Museo Nacional de Historia Natural del Paraguay**, v. 23, n. 2, p 78-89,2019. [https://doi.org/ 10.29327/15304.17-162654](https://doi.org/10.29327/15304.17-162654)

WEINZETTEL, J.; VACKÁRU, D.; MEDKOVÁ, H. Human foot print in biodiversity hotspots. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 16, n. 8, p. 447-452, 2018.<https://doi.org/10.1002/fee.1825>

ZHAO, J., MA, J.; ZHU, Y. Evaluating impacts of climate change on net ecosystem productivity (NEP) of global different forest types based on an individual tree-based model FORCCHN and remote sensing. **Global and Planetary Change**, v. 182, p.103010, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2019.103010>